멀티미디어 서비스를 위한 무선 ATM MAC 프로토콜의 설계

임재환[†] · 방기천[††]

요 약

본 논문에서는 무선 ATM의 MAC 프로토콜로 DTDD/PS(Dynamic Time Division Duplex using Poll/Select scheme)을 제안한다. DTDD/PS 프로토콜의 기본 개념은 기지국과 단말로 구성된 무선 ATM 라디오 셀을 큐잉 시스템으로 고려하는 것이다. 기지국에 있는 MAC 제어기는 각 단말의 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해 각 단말의 순간적인 대역요구의 수용에 초점을 둔다. 이를 위해 기지국에서는 각 단말로부터 동적 매개변수를 받아 이것을 이용하여 기지국에서는 각 단말들의 접속 상태를 통제하고 슬롯 단위로 대역의 동적인 할당을 한다. 이러한 방법으로 유선 ATM 보다 낮은 전송률을 갖는 무선 ATM에서 실시간 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있게된다.

DTDD/PS 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 전송률이 25Mbps인 시스템에서 음성 단말과 데이터 단말이 공존된 환경에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 음성 단말의 증가에 따라 데이터 트래픽의 지연이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 데이터 단말의 부하가 증가하더라도 음성단말에 우선 순위를 주고 있는 상황에서 동시통화 음성단말의 수는 크게 변화가 없다. 따라서 멀티미디어 트래픽과 같은 다양한 QoS를 갖는 트래픽이 공존하는 상황에서 DTDD/PS 프로토콜이 효과적으로 적용될 것을 예상할 수 있다.

Design of a Wireless ATM MAC Protocol for Multimedia Services

Jae-Hwan Lim[†] and Kee-Chun Bang[††]

ABSTRACT

In this paper we propose a WATM MAC protocol called DTDD/PS (Dynamic Time Division Duplex using Poll/Select scheme). The idea of the DTDD/PS protocol is based that a radio cell is considered as queueing system. The MAC controller in base station is charged in coordinating terminals for the QoS requirement from each terminal. For that reason, terminals send it's own dynamic parameter represented its status, and controller controls the access of terminals and assigns time slots dynamically using received parameters. Therefore this system can satisfy the QoS of real-time service in wireless environments.

To evaluate DTDD/PS protocol simulations are executed. In 25Mbps channel capacity, the voice and data coexist traffic situation, as the total number of terminal is increased, the delay of data terminals is increased rapidly. But the case of only increasing data terminals, the number of supported voice terminals is not varying. Therefore we can expect that DTDD/PS protocol can applied to multimedia traffic effectively.

[†] 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
[††] 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

1. 서 론

B-ISDN(Broadband Integrated Service Digital Network)은 기본적으로 모든 통신을 하나의 단일시스템으로 통합하고자 하는 발상이며, 무선통신이 오늘날 통신에 차지하고 있는 비중과 미래에서의 역할을 고려할 때 B-ISDN과 무선통신의 결합은 필연적이다. 따라서 무선통신에서도 B-ISDN에서 서비스하는 멀티미디어의 지원과 요구되는 QoS(Quality of Service)의 보장을 위한 WATM(Wireless Asynchronous Transfer Mode)의 개발이 요구되었다.

일반적으로 WATM단말 사용자는 유선단말 사용자와 같은 기능과 QoS를 요구하므로 WATM의 프로토콜스택은 일반적인 ATM 다중화기와 같은 동작을 해야 한다. 따라서 그림 1에서와 같이 WATM의 가상 ATM 다중화기의 내부에서 물리계층과 ATM 계층 부분이 W-PHY(Wireless Physical Layer)뿐 아니라 W-LLC(Wireless Logical Link Control)와 W-MAC(Wireless Medium Access Control) 부계층으로 구성된 부가적인 데이터링크계층으로 대치된다. WATM의 가상 ATM다중화기는 각각의 VCC (Virtual Channel Connection)에 대해 모든 ATM 서비스등급의 QoS를 보장할 수 있는 방법으로 무선자원을 공유하는 액세스와 통합되어야 한다. 또한 WATM의 MAC 프로토콜은 협상된 QoS에 따른 공정한 통계적 다중화를 구현해야 한다.[1]

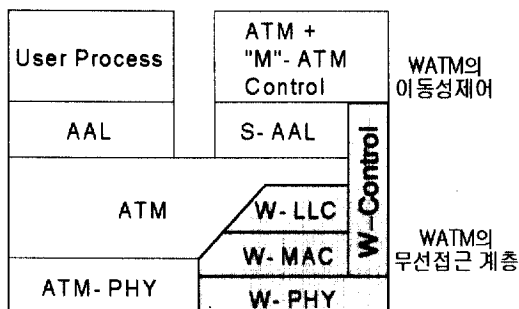



그림 1. 무선 ATM 프로토콜 구조

본 논문에서는 WATM에서 동적 채널할당기법을 이용한 MAC 프로토콜을 제안하고 그 성능을 평가한다. 본 논문에서 제안하는 DTDD/PS(Dynamic Time Division Duplex with Poll/Select scheme) 프로토콜은 동적 채널할당을 통해 다양한 QoS를 갖는 멀티미디어 트래픽을 원활히 서비스하도록 하고, TDD(Time Division Duplex) 방식을 사용함으로써 상/하향 트래픽이 비대칭인 환경에서도 전체 시스템의 효율을 높일 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WATM의 MAC 프로토콜의 설계기준을 살펴보고, 지금까지 연구된 MAC 프로토콜을 간단히 요약한다. 3장에서는 제안하는 프로토콜인 DTDD/PS를 소개하고, 4장에서는 그 성능을 시뮬레이션을 통해서 평가한다. 5장에서는 본 논문의 결론에 대해서 논의한다.

2. 무선 ATM의 MAC 프로토콜

무선 ATM의 성능에 가장 영향을 미치는 것은 MAC 프로토콜이다. 기존의 무선 MAC의 연구분야에서는 채널의 이용률을 증대시키거나 충돌의 확률을 감소시키는 방향의 연구가 중심이 되어왔다. 무선 ATM에서는 ATM의 다양한 서비스들, 즉 ABR (Available Bit Rate), CBR(Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate)의 각기 다른 QoS를 만족시켜야할 것이다. 이를 위해서 무선 ATM의 MAC 프로토콜을 설계할 때 다음과 같은 점이 고려되어야 한다[1].

(1) 다중화방식 (Multiplex method)

TDMA(Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access), CDMA (Code Division Multiple Access) 또는 이들의 조합이 가능하다.

(2) 이중화방식 (Duplex method)

무선 ATM에 대해 TDD(Time Division Duplex)와 FDD(Frequency Division Duplex)의 두 가지 이중화기법이 고려된다.

(3) 대역할당기법 (Bandwidth allocation scheme)

대역을 무선단말에 할당하는 것은 정적 또는 동적 기법 또는 이 두 기법의 조합으로 수행될 수 있다. 정적할당기법은 기지국의 제어가 단순하다는 장점이 있으나, 다양한 트래픽을 서비스해야하는 무선 ATM에는 적합하지 않다고 볼 수 있다. 이에 비해 동적할당기법은 기지국의 제어는 복잡하지만 무선 ATM에서 다양한 트래픽에 훨씬 적합해 보인다.

(4) 대역할당의 시그날링 (Signalling of bandwidth assignment)

무선 단말로의 대역할당이 기지국에서 대역할당 기법 또는 ATM 셀 스케줄러에 의해서 결정되면, 이 대역할당은 무선단말로 통지되어야 한다. 특정한 시간간격(예를 들면 한 프레임 또는 시그날링 기간)에 대한 예약 메시지를 시그날링 버스트로 묶어 하향링크를 통해 방송하는 방식과, 특정한 시간간격 없이 기지국에서 동적으로 전송하는 방식이 있다.

(5) 대역요구의 전송 (Transmission of bandwidth request)

MAC 프로토콜의 효율적인 동작을 위해 기지국은 무선단말의 상태를 알고 있어야 한다. 이것은 단말의 대역요구메시지 전송에 의해 수행된다. 대역요구의 전송시점에 따라 다음과 같이 두 가지로 구분할 수 있다.

① 버스트의 첫 번째 패킷에 대한 대역요구방식 : 경쟁/폴링/고정할당
② 버스트의 나머지 패킷에 대한 대역요구방식 : 버스트예약/piggybacking

2.1 각종 MAC 프로토콜의 비교

무선 ATM 시스템에서 적용된 MAC 프로토콜들을 앞에서 제시한 특성 요소들을 중심으로 상호 비교한 결과를 표 1에 제시한다. 표 1에서 보는 바와 같이 대부분의 프로토콜들이 스케줄, 프레임 구조 및 신호 형태 등에서만 약간의 차이를 보일 뿐 동적 예약(Dynamic Reservation) TDMA라는 동일한 개념에 기초를 두고 있다. 이와 같은 동적 예약 TDMA 방식은 ATM에서 요구하는 지연시간에 따른 다양한 QoS를 보장하면서 통계적 다중화를 실현하기 위해서 가장 효율적인 방법으로 생각된다. 또한, 상/하향링크간의 비대칭적인 트래픽 부하에 따라 상하향간 프레임 경계를 적응적으로 결정함으로써 효율적인 통계적 다중화를 실현할 수 있는 TDD 방식을 적용하는 것이 가장 일반적인 형태이다. 한편, 신호 방식도 거의 대부분 프레임 단위로 수행되며, 슬롯 할당 정보, 경쟁에 대한 확인응답, 그리고 데이터 링크 제어 정보 등을 전송하는 프레임의 구조에서만 약간의 차이가 있을 뿐이다.

2.2 기존 MAC 프로토콜의 문제점

(1) 고정된 프레임 구조를 갖거나 고정된 시그날링 기간을 갖는 문제

이 경우 예약을 위한 슬롯의 위치가 고정된다. 무선 ATM이 서비스할 실제의 트래픽은 고정된 프레임 구조에 동기 되지 않고 완전히 임의의 주기를 가지고 발생하게 된다. 따라서 이러한 트래픽을 서비스하는데는 고정된 프레임의 구조는 적합하지 않다고 볼 수 있다. 또한 예약용 슬롯의 위치가 고정이 되므로 새로운 트래픽이 발생하여 예약을 시도할 때까지 필요 이상의 지연이 생길 수 있고, 한번 예약시도에 실패하면 다시 한 프레임의 시간을 기다려야하는 문제가 발생하게 된

표 1. 무선 ATM MAC 프로토콜의 비교[2-9]

시스템	MBS	MEDIAN	Magic WAND	SWAN	BAHAMA	WATMnet	ORATM
MAC 프로토콜	DSA++	ATDD	MASCARA	EC-MAC	DQRUMA	MDR	OR-MAC
다중접속/이중화	TDMA	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD
패킷 다중접속	동적 예약 방식	동적 예약 방식	동적 예약 방식	동적 예약 방식	동적 예약 방식	동적 예약 방식	동적 예약 방식
예약 요청방식	경쟁/폴링	경쟁	경쟁	경쟁	경쟁	경쟁	경쟁
프레임 길이	가변	고정	가변	고정	고정	고정	not known
상하향링크 프레임길이	not specified	가변	가변	고정	not specified	트래픽 등급간 가변프레임	
슬롯할당 결과의 통보	프레임단위	프레임 단위	프레임 단위	프레임 단위	슬롯단위	프레임 단위	프레임 단위

다. DSA++의 경우에는 프레임의 구조를 가지고 있지는 않으나, 시그날링 기간을 가지게 되므로 유사 프레임 구조를 갖는다고 할 수 있다.

(2) FDD 방식의 문제

무선 통신 시스템에서 컴퓨터 통신 서비스가 (즉, E-mail, 파일전송, 데이터베이스 검색 등) 중요한 서비스가 될 것이다. 이들 컴퓨터 통신의 특징은 비대칭적 트래픽을 생성한다는 것이다. 이 비대칭적 트래픽은 단방향 트래픽이거나, 각각 다른 양을 갖는 양방향 이중 트래픽으로 정의된다. 앞의 예는 E-mail 전송이고, 여기서는 송신자로부터 단지 단방향 트래픽만이 그것의 목적지로 전송된다. 뒤의 예는 데이터베이스 검색이다. 여기서는 검색자로부터 데이터베이스로의 트래픽은 데이터베이스로부터 검색자로의 트래픽보다 훨씬 적다.

FDD에서는 상향링크와 하향링크에 서로 다른 주파수를 사용하므로, 각 링크의 대역폭은 고정되게 된다. 그러나, 무선 ATM에서 서비스해야하는 대부분의 트래픽은 상향과 하향 트래픽이 비대칭이다. 따라서 FDD에서는 전체 링크의 효율이 저하될 우려가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 상향과 하향링크의 대역을 통합적으로 관리, 할당하는 프로토콜이 요구된다. FDD 방식으로는 이러한 프로토콜을 쉽게 구현할 수 없고, 상향과 하향 모두에 단일 주파수를 사용하고, 시간으로 상향과 하향 채널을 나누어 사용하는 TDD방식으로 쉽게 구현할 수 있다.

3. DTDD/PS 프로토콜의 제안

본 논문에서 제안하는 DTDD/PS(Dynamic Time Division Duplex using Polling and Selecting) 프로토콜의 기본 개념은 기지국과 단말로 구성된 무선 ATM 라디오 셀을 큐잉 시스템으로 고려하는 것이다. 기지국에 있는 MAC 제어기는 각 단말의 QoS를 만족시키기 위해 각 단말로부터의 순간적인 대역요구의 수용에 초점을 둔다. 이를 위해 기지국에서는 각 단말로부터 동적 매개변수를 받아 이것을 이용하여 각 단말들의 접속 상태를 통제하고 슬롯 단위로 대역의 동적인 할당을 한다. 이러한 방법으로 유선 ATM 보다 낮은 전송률을 갖는 무선 ATM에서 실시간 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있게된다. DTDD/PS 프로토콜의 특징을 정리하면 다음과 같다.

① 예약 방식으로 S-ALOHA를 이용한다. 충돌의 확률을 줄이기 위해 예약용 슬롯은 m개의 미니슬롯으로 나뉘고, 예약용 미니 패킷의 전송에 사용된다.

② 예약 패킷의 충돌에 의한 예약의 실패를 빨리 해결하기 위해 기지국은 충돌을 감지한 즉시 예약용 슬롯을 할당하는 빠른 충돌해결 알고리즘을 사용한다.

③ 다중화 이득을 최대로 하기 위해서 기지국의 스케줄 알고리즘에 의한 중앙집중식 스케줄로 동적인 슬롯 할당을 수행한다.

④ 고정 프레임을 사용할 경우의 문제를 해결하기 위해서 가상적인 가변 프레임 구조를 갖는다.

⑤ 동적 TDD(Dynamic Time Division Duplex) 방식으로 상/하향 링크의 대역을 동적으로 관리하여 FDD(Frequency Division Duplex)방식에서 상/하향 링크의 불균형 트래픽을 서비스할 경우에 생기는 슬롯 할당의 비효율성을 제거한다.

3.1 슬롯의 종류 및 구조

DTDD/PS에서는 기지국에서의 스케줄에 따라 임의접속방식과 폴링/셀렉팅 방식을 사용한다. 기지국이 매 슬롯의 앞에 제어용 미니슬롯을 통해 방송하는 신호를 통해 각 단말들은 해당 슬롯이 예약용 슬롯(Reservation Slot), 상/하향 데이터 전송용 슬롯(Data Slot)인지를 알게된다. 예약용 슬롯은 그림 2와 같이 다시 예약용 미니슬롯과 응답용 미니슬롯으로 나뉘고, 각 단말은 예약용 미니슬롯 중에서 임의로 하나를 선택하여 예약용 미니패킷을 기지국으로 전송하여 예약을 요청한다. 기지국에서는 정상적으로 수신된 예약용 미니패킷에 대해 응답용 미니슬롯을 통해 예약이 되었음을 ACK로 통지한다. 데이터용 슬롯은 기지국의 스케줄링 알고리즘에 의해서 폴링에 의해 상향 데이터 전송용인 경우와 셀렉팅에 의해 하향 데이터 전송용으로 구분된다.

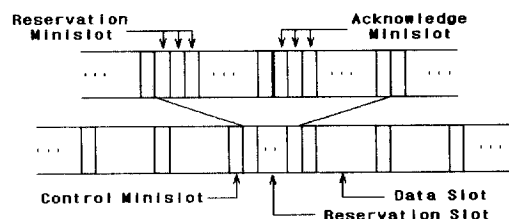



그림 2. DTDD/PS 슬롯의 구조

3.1.1 예약용 슬롯

예약용 슬롯은 m개의 예약용 미니슬롯과 m개의 응답용 미니슬롯으로 나누어진다.

① 예약용 미니슬롯

예약용 슬롯은 예약을 위해서만 사용되며 충돌의 확률을 줄이기 위해 m개의 미니슬롯으로 나뉘어 예약용 미니패킷의 전송에 사용된다. 이 미니패킷에는 동적 매개변수와 단말의 ID, 요구 QoS, CRC 등이 포함된다. 이 미니패킷의 전송방식은 Slotted ALOHA 기법을 사용한다.

② 응답용 미니슬롯

기지국은 예약용 미니 슬롯을 통해 수신한 예약용 미니패킷을 확인하고 수신이 올바로 되었으면, 같은 번호의 응답용 미니슬롯을 통하여 ACK를 방송한다. 이 때 만일 충돌이 감지되면, 충돌이 감지된 예약용 미니슬롯에 해당하는 응답용 미니슬롯은 휴지상태로 남겨두고 다음 슬롯을 예약용 슬롯으로 통지하여 빠른 충돌 해결 알고리즘을 수행한다. 응답용 미니슬롯을 통해서는 예약에 대한 ACK만을 방송하고 슬롯의 할당은 스케줄링 알고리즘에 의해서 결정되어 폴링/셀렉팅에 의해 각 단말로 통지된다.

3.1.2 데이터용 슬롯

데이터용 슬롯은 기지국으로부터의 통지(폴링/셀렉팅)에 따라 상향 데이터의 전송용과 하향 데이터의 전송용으로 구분된다.

기지국에 의해 폴링을 받은 단말은 해당 슬롯을 통해서 데이터를 전송하게된다. 이때 폴링에는 단말의 ID뿐만 아니라 CRC와 0또는 1을 갖는 명령순서가 포함된다. 단말로부터 기지국으로 전송되는 데이터 패킷에는 단말의 ID, 동적 매개변수, CRC 등을 포함하고 있다. 동적 매개변수의 전송은 패킷 발생률이 일정한 CBR 서비스에서는 다음에 보낼 패킷이 있다는 것을 알리는 의미로 사용되지만, VBR 서비스와 같이 패킷 발생률이 가변적인 경우에는 다음 패킷의 전송 시점에 대한 매우 중요한 정보가 된다. 또한 ABR 서비스의 경우에는 기지국이 여유 슬롯을 단말에 동적으로 할당하기 위한 자료로 사용하게 된다. 단말은 더 이상 전송할 패킷이 없을 경우에는 EOT(End Of Transmission)를 동적 매개변수 대신에 전송하고, 기지국은 EOT를 수신하면 해당 단말에 더 이상 전송할 패킷이 없다는 것을 감지하고 연결을 해제한다.

기지국은 빠른 셀렉팅(fast selecting) 방식을 이용하여 유선 망이나 셀 내의 다른 단말로부터 도착한 하향 데이터를 전송한다. 하향채널의 데이터 패킷 헤더에는 목적지 단말의 ID가 있으므로 해당 단말만이 이에 대해 응답하게 된다.

3.2 DTDD/PS 프로토콜의 스케줄링 알고리즘

DTDD/PS 스케줄링 알고리즘에서는 다양한 QoS를 갖는 멀티미디어 트래픽을 쉽게 수용하고, 상향과 하향채널의 대역폭을 통합적으로 동적 할당하여 전체 채널의 이용률을 극대화시키기 위해서 다음과 같은 동적 매개변수를 사용한다.

단말로부터 얻게되는 매개변수로 단말 큐의 선두 패킷의 잔여수명 l_i, 패킷의 폐기 우선 순위 p_i, 단말의 대기 패킷 수 n_i 등이 있다. 또한, 기지국에서 생성하는 매개변수로 단말 i의 재전송 횟수 r_i, 경쟁상태에서 충돌여부를 나타내는 경쟁 Flag F_c, 지난번 예약슬롯 이후에 발생된 데이터슬롯의 수 CRS (Consecutive Reserved Slot), CRS의 최대값 C_T, r_i의 최대값 r_T 등이 사용된다.

스케줄링 알고리즘은 각 단말의 연결 상태와 하향 데이터 패킷을 관리하기 위해 기지국에서 큐를 사용한다. 기지국 큐에는 예약에 성공하여 폴링 되기를 기다리는 단말의 식별자와 위에서 언급된 동적 매개변수들과 하향 데이터 패킷의 정보가 기록된다. 스케줄링 알고리즘은 패킷이 올바로 수신되면 헤더에 기록된 매개변수를 이용하여 기지국 큐를 갱신한다. 기지국 큐는 매 슬롯의 끝에서 잔여수명 순서로 재 정렬되고, 이때 잔여수명은 이전의 잔여수명보다 한 슬롯시간만큼 감소된다. 만일 어떠한 이유에서든 패킷이 폐기되어 단말로부터의 매개변수가 정상적으로 전달되지 않으면 스케줄링 알고리즘은 이전에 수신한 매개변수로 기지국 큐를 갱신한다. 하나의 단말에 대해서는 항상 하나의 선두 패킷에 대한 예약만이 기지국 큐에 있게 된다. 스케줄링 알고리즘은 기지국 큐를 이용하여 다음 슬롯의 상태를 결정한다.

(1) 예약용 슬롯의 발행기준

① 한번 예약용 슬롯이 발생된 이후에 연속된 데이터 슬롯의 수 CRS가 C_T를 초과하는 경우에 예약

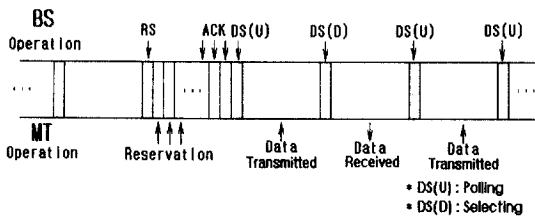



그림 3. DTDD/PS의 동적 슬롯 할당 동작

슬롯을 발행한다. 이것은 새로운 트래픽이 발생한 단말이 예약을 시도하기까지 기다려야하는 최대 지연 시간이 된다.

② 단말들이 경쟁중임을 알리는 F_c를 검사하여, 체크가 되어 있을 때에, 즉 충돌이 감지되었을 때 예약용 슬롯을 발행한다. 이것으로 빠른 충돌해결을 할 수 있다.

③ 기지국 큐 선두 정보(상향 예약상태 정보 또는 하향 트래픽 패킷 정보)의 잔여수명이 r_T보다 크면, 즉 상/하향 트래픽 부하가 비교적 적을 때 예약용 슬롯을 발행한다. 이것을 통해 새로운 트래픽이 발생한 단말이 예약을 시도하기까지 기다리는 지연시간을 감소할 수 있다.

(2) 데이터 슬롯의 발행기준

스케줄링 알고리즘은 기지국 큐의 선두 정보를 가지고 다음 슬롯을 할당한다.

상향 데이터 슬롯에서 전송오류가 생기면 기지국은 다음 슬롯에 다시 해당 단말에 상향 데이터 슬롯을 할당하여 빠른 재전송을 시도한다. 이때 재전송 횟수 r_i가 r_T를 넘게되면 더 이상의 재전송을 포기하고 해당단말에 대해서 이전에 받았던 동적 매개변수를 이용하여 기지국 큐에 재등록한다.

3.3 빠른 충돌 해결 알고리즘

DTDD/PS에서는 예약을 위해 기다리는 지연시간을 최소화하기 위해서 예약용 슬롯의 발행 간격을 시스템의 부하에 따라 가변 시킨다. 또한 예약용 미니 패킷의 충돌에 의한 예약의 실패를 빠른 시간 안에 해결하기 위해서 그림 4와 같은 빠른 충돌 해결 알고리즘을 사용한다.

빠른 충돌해결 알고리즘은 예약용 슬롯을 발행하고 예약용 미니슬롯에서 충돌이 감지되면 바로 다음 슬롯을 다시 예약용 슬롯을 발행하여 충돌이나 무선 구간의 잡음 등으로 인해 예약에 성공하지 못한 단말들이 빠른 시간 안에 예약용 미니패킷을 재 전송할 수 있도록 한다.

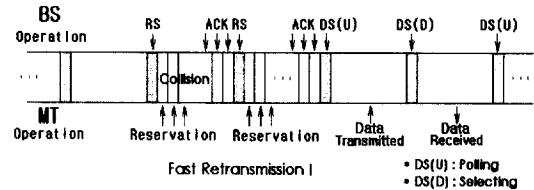



그림 4. DTDD/PS의 빠른 충돌해결 알고리즘

3.4 무선 ATM의 셀 구조

무선 ATM의 셀 구조는 기본적으로 ATM 셀 구조와 호환성을 위하여 53 바이트의 ATM 셀에 무선용 헤더(header)와 트레일러(trailer)를 부가하여 무선 ATM 데이터 패킷을 57 바이트 구성으로 한다.

헤더에 의한 오버헤드를 줄이기 위해 압축된 ATM 셀 헤더를 사용하고, 무선 데이터 링크 헤더를 부가한다. 그림 5는 무선 ATM 데이터 셀 및 ATM 셀 구조를 비교하기 위하여 보여주고 있으며 그림 1에서 제시된 프로토콜 스택과 일치하는 구성을 보여주고 있다. 무선 ATM 단말은 무선 ATM 셀 포맷으로 데이터를 전송하고 기지국에서는 무선 ATM 셀과 유선 ATM 셀의 변환을 수행한다. 그림 5(a),(b)의 각 셀별 주요 기능은 다음과 같다[8].

- Type : 무선 ATM에서 제공하는 CBR, ABR, VBR, UBR 등의 서비스
- GFC (Generic Flow Control) : 매체 공유형 망의 접속 제어, 종단간 흐름제어
- CSN (Cell Sequence Number) : 데이터 링크 계층의 오류 제어를 위한 패킷 일련번호
- VCI (Virtual Channel Identifier) : 가상 채널 식별자
- VPI (Virtual Path Identifier) : 가상 경로 식별자
- CONTROL : 핸드오버 처리를 위한 핸드오버 표시기(indicator), 기지국 프로토콜 처리 및 자원 할당을 간단히 하기 위한 감시(supervisory), MAC 기능을 위해 필요한 제어
- PLT (Payload Type) : 사용자 정보 셀 폭주 등의 관리 정보
- CLP (Cell Loss Priority) : 셀 손실의 우선, 비우

선, 위반 등을 표시

- HEC (Header Error Control) : 헤더의 오류 검출, 오류 정정 부호, 셀 동기 등
- DP (Dynamic Parameter) : 동적 매개변수 단말 큐의 선두 패킷의 잔여수명 등
- CRC (Cyclic Redundancy Check) : 열악한 무선 환경에서 오류 제어를 위해 비트 또는 다항식 부호를 사용, 패킷 일련번호 등을 표시

필드			옥텟
Type	GFC		1
CSN			2
Control			3
VCI			4
VCI	PLT	CLP	5
DP			6
HEC			7
48 Byte Payload			8 – 55
CRC			56
CRC			57

(a) 무선 ATM 셀 포맷

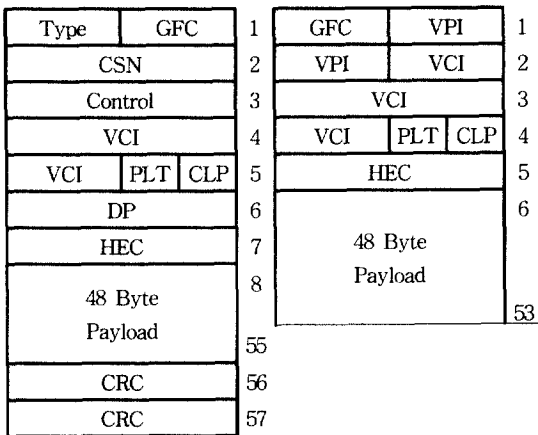
필드			옥텟
GFC	VPI		1
VPI	VCI		2
VCI			3
VCI	PLT	CLP	4
HEC			5
48 Byte Payload			6 – 53

(b) 유선 ATM 셀 포맷

그림 5. 무선 ATM 셀 및 ATM 셀 포맷

4. 시뮬레이션에 의한 성능평가

4.1 음성 트래픽 전송에 대한 성능평가

음성 트래픽의 전송에 대한 성능을 평가하기 위해서 PRMA(Packet Reservation Multiple Access)[10]와 유사한 환경에서 시뮬레이션을 하고 PRMA와 비교한다. 비록 PRMA가 무선 ATM을 위한 프로토콜은 아니지만 무선 패킷 망에서 많이 연구되고 있고, 음성 트래픽의 전송 성능을 비교하기 위해 많이 인용되는 프로토콜이므로 성능의 비교에 사용하고자한다. 시뮬레이션에 사용한 트래픽 모델은 PRMA에서 사용한 것과 동일한 음성 트래픽 모델(그림 6)이다. 표 2에 음성 소스 모델과 PRMA 및 DTDD/PS의 매개변수를 정리한다.

PRMA 프로토콜은 셀 내부에 공간적으로 분산된 여러 단말들이 하나의 기지국을 통하여 패킷화된 음성을 전송할 수 있도록 Goodman 등에 의해서 제안된 프로토콜이다. 현재 PRMA에서 음성뿐 아니라 데이터와 비디오 트래픽까지 지원하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 음성신호가 발음구간(talkspurt) 동안 여러 개의 패킷을 만들어내기 때문에 이의 통신을 위해서는 예약형의 프로토콜이 적합하다. PRMA는 이를 위해 예약의 시도에는 데이터 패킷을 이용한 S-ALOHA 방식을 사용하고, 예약에 성공하면 한 프레임에 하나의 슬롯을 고정적으로 할당받는 TDMA 방식으로 동작한다. PRMA에서 정보 패킷을 보유한 단말들은 슬롯을 예약하기 위하여 상향링크를 통하여 S-ALOHA 프로토콜을 이용하여 다른 단말과 경쟁하며, 만약 단말이 데이터 패킷의 전송을 위하여 기지국에 슬롯의 할당을 요구한 후 기지국으로부터 ACK를 수신하면 슬롯의 예약이 성공한 것으로, ACK를 수신하지 못하거나 NAK를 수신한 경우는 슬롯의 예약이 실패한 것으로 간주한다. 이러한 과정은 기지국으로부터 요구 슬롯이 할당될 때까지 계속 반복된다. 기지국으로부터 ACK를 수신한 단말은 예약된 슬롯을 통하여 전송하고자 하는 데이터를 전송한다. 프레임 내에는 여러 개의 데이터 패킷이 포함되며, 프레임 내부의 각 슬롯들은 마지막에 기지국으로부터 수신된 미니 슬롯 영역의 정보에 따라 슬롯이 예약되었는지 아닌지, 정보 전송이 끝났는지 아닌지 등 여러 가지 정보를 가지고 있다.

PRMA에서는 음성 트래픽의 발음구간 동안에는 패킷이 발생하여 예약을 하고, 슬롯을 점유하여 음성 패킷을 전송한다. 그러나 묵음구간(silent) 동안에는 패킷의 발생이 없으므로 예약을 종료하게 되고 점유하였던 슬롯을 다른 단말이 사용하게 된다. 이러한 방식으로 슬롯을 동적으로 다중화하여 사용하게 되므로 단순한 산술 계산에 의한 것보다 많은 단말을 서비스 할 수 있게 된다.

PRMA는 FDD방식으로 상/하향 링크에 각각 720Kbps의 대역폭을 갖게되고, 따라서 시스템 전체로 보면 1.44Mbps의 대역을 갖는다. 이에 비해 DTDD/PS는 TDD 방식으로 링크를 사용하므로, PRMA와의 공정한 비교를 위해서 시스템 전체의 대역폭을 1.44Mbps로 선택한다.

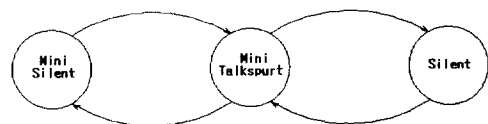



그림 6. 음성 트래픽 모델

표 2. 시뮬레이션 매개변수

Talkspurt		1 sec
Silent		1. 35 sec
Mini talkspurt		275 ms
Mini Silent		50ms
Source Rate		32 Kbps
Speech Delay Constraint		32 ms
PRMA	Packet Size	512 bits
	Overhead per Packet	64 bits
	Total Bits per Packet	576 bits
	Packet Generation Interval	16 ms
	Channel Rate	720 Kbps
DTDD/PS	Payload	384bits
	WATM Packet Size	456 bits
	Mini Packet Size	24 bits
	Overhead per Slot	96 bits
	Packet Generation Interval	12 ms
	Channel Rate	1. 44 Mbps

4.1.1 PRMA와 동일한 슬롯 크기에서의 성능평가

DTDD/PS 프로토콜의 스케줄링 알고리즘의 동적 슬롯 할당과 예약방식으로 인한 성능의 향상에만 주목하기 위해서 제어용 미니 슬롯에 의한 오버헤드는 고려하지 않고, PRMA의 슬롯의 크기와 DTDD/PS의 슬롯의 크기는 같다고 가정한다.

그림 7에서 볼 수 있는 것처럼 DTDD/PS의 패킷 폐기율 1%를 만족하는 동시통화 음성 단말의 수가 PRMA의 37개[10]에 비해 43개로 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 한 슬롯 당 PRMA가 1.85개의 음성 단말을 서비스 할 수 있는 것이 비해서 DTDD/PS 프로토콜은 약 2.15개의 음성 단말을 서비스하여 DTDD/PS가 PRMA에 비해서 우수한 다중화 효과를 갖는 것을 알 수 있다. 이것은 DTDD/PS 프로토콜의 스케줄 알고리즘에 의한 동적 슬롯의 할당과 예약을 위한 미니 패킷의 사용 그리고 빠른 충돌 해결 알고리즘의 사용으로 인해 얻은 효과이다.

또한, DTDD/PS에서는 하향 트래픽의 부하 λ_d가 작아질수록 1%의 패킷 폐기율을 만족하는 동시통화 음성 단말의 수가 증가하는 것을 볼 수 있다. λ_d =0.001인 경우에는 DTDD/PS 프로토콜은 PRMA에 비해서 두 배 이상의 단말을 서비스하는 것으로 나타난다. 따라서 시스템 전체의 처리율이 증가하는 것을 알 수 있다.

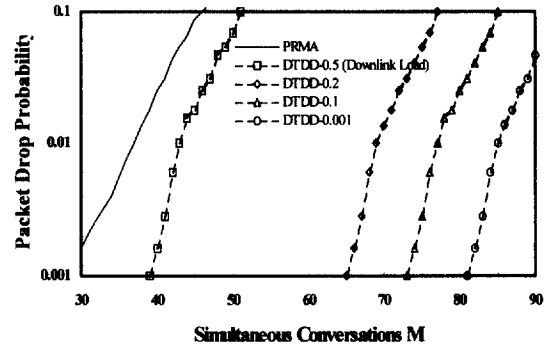



그림 7. 동시통화 단말 수의 변화에 따른 패킷 폐기율

4.1.2 DTDD/PS에서 오버헤드를 고려한 경우의 성능평가

제어용 미니슬롯과 무선 패킷의 헤더 등에 의한 오버헤드를 고려하기 위해서 DTDD/PS에서 무선 패킷의 크기를 ATM과 같은 57바이트로 한다. 이때 실제 데이터(payload)는 48바이트이다. 또한, 제어용 미니 패킷의 크기는 3바이트로 한다. 이 경우 음성 패킷은 12ms마다 하나씩 발생하게 된다. 이러한 환경에서 시뮬레이션을 하였을 경우 패킷 폐기율 1%를 만족하는 동시통화 음성단말 수는 그림 8과 같이 39개가된다. 따라서 제어용 미니 패킷과 무선 패킷의 헤더 등에 의한 오버헤드에 의해서 동시통화 음성단말 수가 4개 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 오버헤드의 부담에도 불구하고 PRMA의 동시통화 음성단말수가 37개인 것에 비해 DTDD/PS 프로토콜이 좋은 다중화 효과를 갖는다.

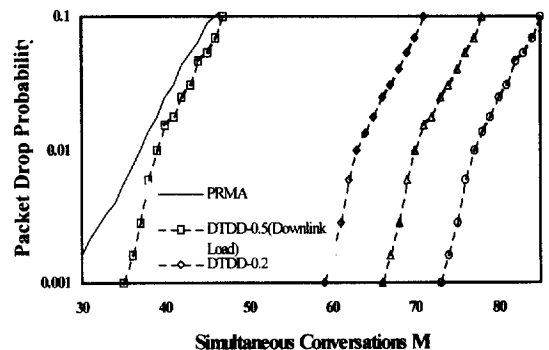



그림 8. 제어용 미니 패킷을 고려한 경우에 동시통화 단말 수의 변화에 따른 패킷 폐기율

4.2 음성/데이터 혼합 전송에 대한 성능평가

25Mbps의 전송속도를 갖고 셀의 크기가 반경 50m인 실내 환경에서 무선 ATM 시스템에서 음성 단말과 데이터 단말이 공존하는 경우에 대한 시뮬레이션을 수행했다. 이 경우 무선 ATM 패킷은 약 18㎲의 시간길이를 가지게 되고, 왕복 전파지연시간은 약 0.66㎲의 시간길이를 가지게 된다. 따라서 왕복 전파 지연시간은 무시할 수 있다.

음성신호는 32Kbps ADPCM으로 코딩되어 250㎲마다 1바이트가 생성된다고 가정한다. 각 패킷의 정보필드(payload)의 길이는 48바이트이므로 하나의 음성패킷이 생성되는데 12㎳가 걸린다. 시스템 내에는 N개의 음성단말이 활성상태이며, 시스템 내의 통화는 없다고 가정한다.(즉, 각 통화자는 다른 셀의 통화자와 통화한다.) 음성 단말기의 트래픽 특성은 4.1절의 것과 같은 것을 사용한다. 또 시스템 내에는 300개의 데이터 단말이 존재하고, 모든 데이터 단말은 시스템에 동일한 부하를 가한다고 가정한다. 각 데이터 단말기에서의 메시지는 포아송 분포에 따르며 하나의 메시지는 기하분포에 따라 평균 100개의 패킷으로 구성된다고 가정한다.

그림 9는 시스템 전체의 데이터 인가부하의 변화에 따른 데이터 메시지의 평균 지연시간을 보여 준다. 한 메시지의 지연시간은 메시지의 생성 시점으로부터 그 메시지의 마지막 패킷이 성공적으로 송신된 순간까지의 시간을 뜻한다.

그림 10은 데이터 부하 및 활성 음성단말 수의 변화에 따른 음성 패킷의 평균 폐기율을 보여준다. 1%의 패킷 폐기율을 만족하는 동시 통화 단말 수 $M_{0.01}$가 약 1500 단말이 되는 것을 볼 수 있다.

결과적으로 음성 단말과 데이터 단말이 공존된 환경에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 QoS를 만족시키는 상황에서 음성 단말의 증가에 따라 데이터 트래픽의 지연이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 데이터 단말의 부하가 증가하더라도 음성단말에 우선 순위가 주어진 상황에서 동시통화 음성단말의 수는 크게 변화가 없는 것을 볼 수 가 있었다. 이에 따라 멀티미디어 트래픽과 같은 다양한 QoS를 갖는 트래픽이 공존하는 상황에서 DTDD/PS 프로토콜이 효과적으로 적용될 것을 예상할 수 있다.

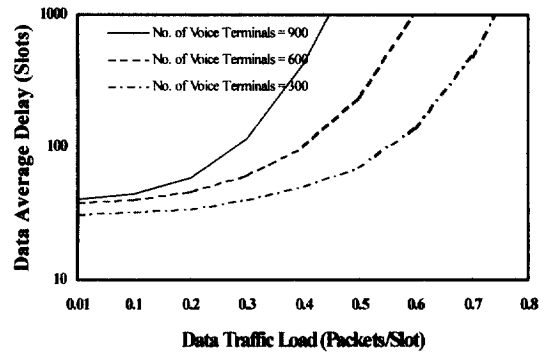



그림 9. 데이터 트래픽 부하의 변화에 따른 데이터 전송의 평균지연

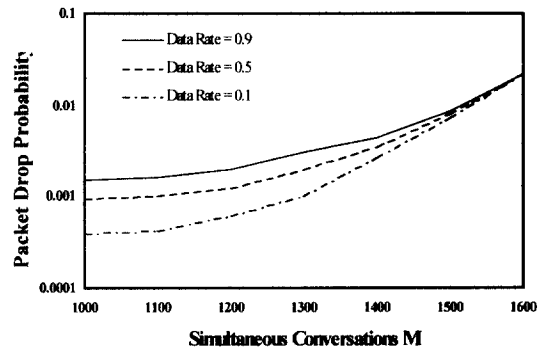



그림 10. 동시통화 단말 수의 변화에 따른 패킷 폐기율

5. 결 론

본 논문에서는 무선 ATM에서 멀티미디어 트래픽을 지원하기 위해 동적 슬롯할당 기법을 이용한 MAC 프로토콜 DTDD/PS를 제안하고, 동적 슬롯할당 기법의 성능을 평가하기 위해 PRMA와 같은 환경에서 하향트래픽 부하를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

그 결과 제어용 미니슬롯과 무선 패킷의 헤더 등에 의한 오버헤드를 무시한 경우에 패킷 폐기율 1%를 만족하는 동시통화 음성 단말 수 $M_{0.01}$가 PRMA는 37개이었던 것에 비해서, DTDD/PS는 43개로 다중화 효율이 커지는 것을 볼 수 있고, 하향트래픽의 부하가 감소할수록 $M_{0.01}$이 증가하여 $M_{0.01}$의 값이 λ_d=0.5, 0.2, 0.1, 0.001에 대해 각각 43, 69, 77, 83 개로 증가하는 것을 알 수 있다. 이 결과로 DTDD/PS 프로토콜이 PRMA에 비해 다중화 효과가 크고, 비대칭 트래픽에 적합한 프로토콜이라는 것을 알 수 있다.

제어용 미니슬롯과 무선 패킷의 오버헤드를 고려한 시뮬레이션의 결과 $M_{0.01}$이 39개로 감소하는 것을 볼 수 있다. DTDD/PS 프로토콜이 오버헤드에도 불구하고 PRMA 보다 큰 다중화 효과를 갖는 이유는 기지국의 스케줄링 알고리즘에 의한 동적 슬롯 할당의 효과와 미니패킷을 이용한 예약방식 그리고 예약패킷에 충돌이 발생했을 때 이것을 신속히 해결하기 위한 빠른 충돌 해결 알고리즘 때문이라고 볼 수 있다.

또한, 전송률이 25Mbps인 시스템에서 음성 단말과 데이터 단말이 공존된 환경에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 QoS를 만족시키는 상황에서 음성 단말의 증가에 따라 데이터 트래픽의 지연이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나, 데이터 단말의 부하가 증가하더라도 음성단말에 우선 순위 주고 있는 상황에서 동시통화 음성단말의 수는 크게 변화가 없다. 따라서 멀티미디어 트래픽과 같은 다양한 QoS를 갖는 트래픽이 공존하는 상황에서 DTDD/PS 프로토콜이 효과적으로 적용될 것을 예상할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] D. Petras, A. Kramling, A. Hettich, "Design Principles for a MAC Protocol of an ATM Air Interface", available at http://www.comnet.rwth-aachen.de/~petras

[2] RACE II Project MBS (R2067), http://www.comnets.rwth-aachen.de/ project/mbs.

[3] D. Petras, A. Kramling, A. Hettich, "MAC protocol for Wireless ATM: contention free versus contention based transmission of reservation requests", In PIMRC'96, Taipei, Taiwan, October 1996.

[4] *Magic WAND : Wireless ATM Network Demonstrator*, http://www.tik.ee.ethz.ch/~wand/contacts.html

[5] E. Hyden et. al., "SWAN : An Indoor Wireless ATM Network", *Proceedings of ICUPC '95*, 1995.

[6] K. Y. Eng, et. al., "BAHAMA: A Broadband Ad-Hoc Wireless ATM Local-Area Network.", *Proceedings of the IEEE ICC '95*, pp. 1216-1223, Seattle, USA, June 1995.

[7] M. Karol, Z. Haas, C. Woodworth, "Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks", In ICC'95, pp. 1224-1231, Seattle, USA, June 1995.

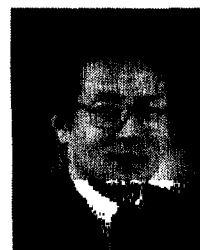
[8] D. Raychaudhuri, et. al., "WATMnet : A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communication", *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 1, pp. 83-95. January 1997.

[9] J. Porter, "ORL Radio ATM", *Proceedings of Wireless ATM Workshop*, Espoo, Finland, Sep. 2-3. 1996.

[10] S. Nanda, D. J. Goodman, U. Timor, "Performance of PRMA : A Packet Voice Protocol for Cellular Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, pp. 584-598, 1991.

임 재 환

1991년 숭실대학교 전자공학(학사)
1993년 숭실대학교 전자공학(석사)
1998년 숭실대학교 전자공학(박사)
1999년~현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
관심분야 : 멀티미디어 통신, 초고속 정보통신망

방 기 천

1981년 서울대학교 전자공학(학사)
1988년 성균관대학교 정보처리학(석사)
1996년 성균관대학교 전산통계학(박사)
1984년~1995년 (주)문화방송 기술연구소
1995년~현재 남서울대학교 멀티미디어학과 교수
관심분야 : 멀티미디어, 디지털 컨텐츠